



طراحی و تحلیل سیستم‌های تولید همزمان حرارت و توان در سایت جامع از دیدگاه انرژی‌اقتصاد

نویسنده اول^۱: یاسر شکری - نویسنده دوم^۲: دکتر مهرانگیز قاضی - نویسنده سوم^۳: دکتر محمد نیکیان

آدرس نویسنده اول: زنجان، خرمدره، میدان امام حسین (ع)، خیابان شهید مفتاح، کوچه ی یکم، پلاک ۴ - نام دانشگاه: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایمیل نویسنده اول: fluid_eng19@yahoo.com

آدرس نویسنده دوم: استان قزوین - شهرستان تاکستان - سه راه شامی شاپ - مجتمع آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی، نام موسسه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، عنوان نویسنده، استادیار، پست الکترونیکی: mhrghazi@gmail.com

آدرس نویسنده سوم: استان قزوین - شهرستان تاکستان - سه راه شامی شاپ - مجتمع آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی، نام موسسه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، عنوان نویسنده، استادیار، پست الکترونیکی: m.nikian@gmail.com

چکیده

تمام شده محصولات صنایع مختلف شده است، همچنین آلودگی محیط زیست، قانونهای گذاشته شده و جریمه‌های سنگین جهت کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای لزوم کاهش مصرف انرژی را واضح تر نشان می دهد به همین دلیل سیاست گذاران و صاحبان صنایع در دنیا به فکر چاره جوئی افتادند که حاصل آن ابداع طرح‌های گوناگون برای روبرو شدن با این موضوع در طی سال‌های اخیر می باشد، یک روش موثر، صرفه جویی و بهینه‌سازی در مصرف انرژی است که برای دست یافتن به این هدف راهکارهای گوناگونی، ارائه شده است. با توجه به مصرف قابل توجه حامل‌های انرژی در صنایع لازم است راهکارهایی برای بهبود مصرف انرژی مد نظر قرار گیرد، تولید همزمان برق و حرارت یک روش صرفه جویی انرژی است که در آن برق و حرارت بطور همزمان تولید می شوند، حرارت حاصل از تولید همزمان می تواند به منظور گرمایش ناحیه‌ای یا در صنایع فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد [۱] [۲]، در سه دهه اخیر پس از افزایش عمده بهای سوخت، اهمیت بحث سوخت جایگزین، افزایش کارایی انرژی و کاهش آلودگی زیست محیطی، تمایل به استفاده از فن آوری‌های جدید از جمله تولید همزمان برق و حرارت افزایش یافته است [۳].

یوتیلیتی سایت جامع

یوتیلیتی سایت جامع به عنوان یک سیستم همزمان تولید توان و حرارت صنعتی، وظیفه سرویس دهی به تعداد مشخص از فرآیندها را برای تامین حرارت و قدرت در ترازهای مختلف انرژی در فرآیندی صنعتی عهده‌دار است، سیستم یوتیلیتی فرآیندی بر اساس نیاز بخش‌های داخلی مجموعه و یک سری متغیرهای عملیاتی پیچیده می‌شوند این تغییر در تقاضا نیازمند یک روش مناسب جهت ایجاد یک سامانه مدیریتی می باشد که بتواند بهترین حالت را که دارای بازدهی بالا، قابلیت تطبیق با شرایط مختلف و همچنین هزینه کمینه

با توجه به تعداد زیاد سیستم‌های تولید همزمان در صنعت، بر روی تجزیه و تحلیل این سیستم‌ها مطالعات زیادی انجام می شود. مصرف بخار که در سیستم یوتیلیتی واحدهای فرآیندی تولید می‌گردد، یکی از نقاط پر مصرف انرژی در واحدهاست، حرارت و توان بوسیله‌ی یک سیستم یوتیلیتی مرکزی تامین شده و طراحی می بایست قادر باشد تا بگونه‌ای بهینه تقاضای حرارت و توان را متعادل نماید، تحلیل سامانه‌ی تولید همزمان را می توان به کمک روش انرژی‌اقتصادیک انجام داد. همچنین نتایج داده‌ها می تواند در تصمیم گیری و انتخاب سناریو بهینه از لحاظ‌های انرژی، هزینه‌ی سالیانه، انرژی و انرژی‌اقتصادیک کمک بسیاری کرده و برای اصلاح سناریو بهینه کمک می کنند. هزینه‌های طرح در تصمیم گیری و انتخاب، نقش به سزایی دارند. و با یک تابع هدف، یعنی کمینه سازی هزینه تولید مطرح می باشد. در این تحقیق بر آن شدیم در ابتدا به پیکربندی چیدمان توربین‌های بخار پرداخته و با تحلیل عملکرد انرژی‌اقتصادیک آنها چیدمان مناسب را معرفی کنیم. در ادامه به جزء دوم این تحقیق یعنی اضافه شدن دو طرح به کارگیری از یک سامانه توربین میعانی (کندانسی) یا یک سامانه توربین گازی می‌پردازیم. در نهایت مجموع بهترین طرح شامل چیدمان کارآمد توربین‌های بخار فشار برگشتی به اضافه‌ی بهترین طرح جانبی از بین سامانه توربین گازی یا میعانی به عنوان طرح منتخب ارائه خواهد شد.

واژه های کلیدی

انرژی‌اقتصادیک، سایت جامع، طراحی بهینه، یوتیلیتی سایت جامع، تولید همزمان حرارت و توان

مقدمه

در سال‌های اخیر بحران انرژی ناشی از کاهش منابع انرژی‌های فسیلی و افزایش قیمت آن، یکی از مسائل مهم و روز دنیا شده است، این امر باعث افزایش هزینه‌های انرژی و در نتیجه افزایش قیمت

همزمان قدرت و حرارت (η_{cogen})، که همان راندمان استفاده مفید از سوخت می‌باشد، به صورت نسبت بخش مفید و قابل استفاده انرژی به مصرف سوخت تعریف می‌گردد، رابطه (۱)، نسبت توان به حرارت نیز در رابطه (۲)، تعریف شده است، که معرف شرایط عملکردی یک سایت می‌باشد [۷].

$$\eta = \frac{W + Q_{heat}}{Q_{fuel}} \quad (1)$$

$$R = \frac{W}{Q_{heat}} \quad (2)$$

انرژی نیز مانند انرژی، دارای مولفه‌های مختلفی است. در غیاب اثرات میدان‌های هسته‌ای، مغناطیسی، الکتریکی و کشش سطحی، می‌توان رابطه زیر را برای انرژی (EX) جریانی از مواد نوشت [۸].

$$EX = EX_K + EX_P + EX_{PH} + EX_{CH} + EX_{DI} \quad (3)$$

بازده انرژی

موازنه انرژی بر پایه مفهوم آن، برای سیستمی که در حالت پایا بوده و دارای انرژی ورودی و خروجی باشد، بصورت زیر نوشته می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{\sum EX_{out}}{\sum EX_{in}} \quad (4)$$

تخریب انرژی

تخریب انرژی نشان دهنده‌ی میزان کارایی یک تجهیز و به صورت کلی یک سیستم می‌باشد. هدف از تحلیل انرژی ابتدا بدست آوردن میزان تخریب انرژی و سپس تحلیل و ارائه راهکار برای کم کردن تخریب انرژی می‌باشد.

هزینه نرخ تخریب انرژی

هزینه‌ی نرخ تخریب انرژی که بر واحد دلار بر ساعت می‌باشد از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید که مقدار $C_{f,k}$ در این تحقیق 0.005 \$/MJ در نظر گرفته شده است [۹].

$$\dot{C}_{D,K} = c_{f,k} \times \dot{E}_{D,K} \quad (5)$$

$$\dot{E}_{D,K} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - W_{cv} + \sum_i \dot{E}_i - \sum_e \dot{E}_e \quad (6)$$

نرخ سرمایه گذاری

برای محاسبه نرخ سرمایه گذاری از فرمول زیر استفاده می‌کنیم [۹]، که $\phi = 1.06$ و $CRF = 0.08$ و $N=8000$ که تعداد ساعات کارکرد تجهیزات و Z_K تابع قیمت هر یک از تجهیزات می‌باشد.

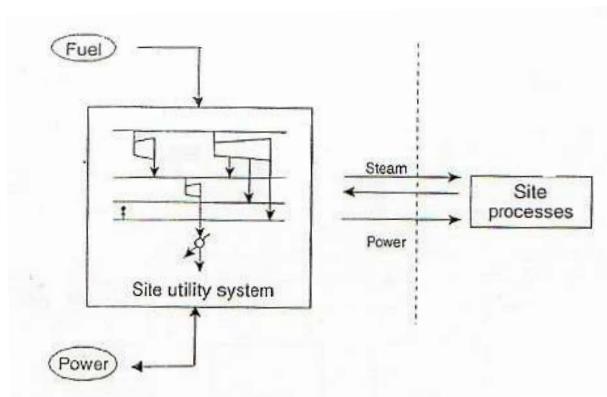
$$\dot{Z}_K = \frac{Z_K \cdot CRF \cdot \phi}{N \cdot 3600} \quad (7)$$

هزینه‌های خرید تجهیزات اصلی

تابع قیمت خرید بویلر

به طور متداول، هزینه خرید بویلر، تابعی از دبی بخار و فشار طراحی است. این پارامترها مقدار و مشخصات مواد سازنده را تعریف می‌کنند.

با توجه به هدفگذاری اقتصادی حاصل از بهینه سازی داشته باشد، با در نظر گرفتن تقاضای متغیر سیستم خدمات جانبی با زمان، بالا ننگه داشتن بازده با تغییر پارامترها در یک بازه مشخص، امری مطلوب نظر می‌باشد از طرف دیگر مقایسه لازم ما بین انعطاف پذیری سیستم خدمات جانبی و هزینه‌های ناشی از بهینه‌سازی هم باید انجام گیرد. در ضمن ابعاد واحد به همراه بار و شرایط عملیاتی در بازه واحدها باید در محاسبات حتما لحاظ شود [۴] [۵]، اکثر فرآیندهای صنعتی به نوعی یک مجموعه کلی هستند که توسط یک مجموعه خدمات جانبی مرکزی به یکدیگر متصل شده اند. بخار با فشار بالا با عبور از توربین، تولید توان می‌کند که برای راه اندازی پمپ‌ها، کمپرسورها و سایر تجهیزات فرآیندی استفاده می‌شود. خود فرآیندها نیز بخار را در ترازهای مختلف مصرف و یا تولید می‌کنند، شکل ۱.



شکل ۱: تعامل سیستم خدمات جانبی با سایر بخش‌های مجموعه [۵]

نیاز اکثر واحدهای فرآیندی برای افزایش سود بخشی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، مدیران را به بکارگیری روش‌هایی جهت بهبود عملکرد بازدهی انرژی ترغیب می‌نماید. بهبود بازدهی سیستم‌هایی که مصرف کننده مقادیر عظیم انرژی می‌باشند، حتی در سطح چند درصد نتایج مالی شگرفی را به همراه دارد [۶].

انرژی

قابلیت انجام کار^۱ را می‌توان بالاترین مقدار کاری دانست که یک دستگاه می‌تواند بدون نقض قوانین ترمودینامیک تولید نماید و این کار معادل انجام کار در یک فرآیند برگشت پذیر از حالت ابتدایی به حالت محیط یا حالت مرده^۲ می‌باشد.

انرژی و اکونومیک

انرژی و اکونومیک شاخه‌ای از ترمودینامیک کاربردی است که با روش‌های بهینه سازی و تحلیل فرآیند بر مبنای قانون دوم و مفهوم انرژی سروکار دارد.

تحلیل انرژی و انرژی و اکونومیک

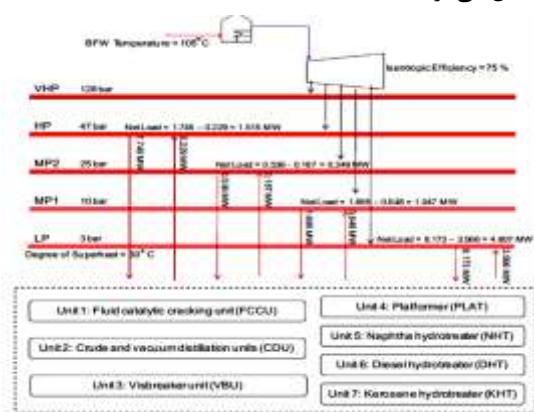
در یک واحد صنعتی، انرژی سوخت به توان و حرارت تبدیل شده و بخشی از انرژی در طی این انتقال به هدر می‌رود راندمان تولید

1- Work Potential
2- Dead Condition

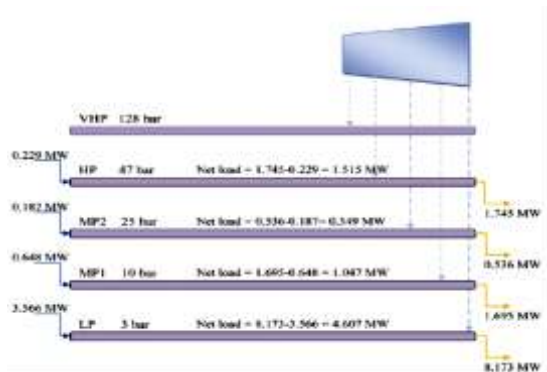
در ابتدا برای نشان دادن قابلیت روش اصلاحی IBTM در تحلیل سایت جامع به عنوان مطالعه موردی، واحد سرویس‌های جانبی^۲ یک پالایشگاه انتخاب می‌شود. این پالایشگاه، پالایشگاه کلتکس^۳ در آفریقای جنوبی می‌باشد که عنوان مطالعه موردی در روش IBTM نیز انتخاب شده است [۱۱].

شکل ۲ داده‌های ورودی لازم برای هدف گذاری تولید همزمان در سامانه یوتیلیتی سایت در تعامل با هفت واحد پالایشگاه را نشان می‌دهد.

سامانه بخار شامل پنج سطح بخار و آب سرد می‌باشد. بخار VHP در فشار ۱۲۸ بار در بویلر تولید می‌شود. پارامترهای مربوط به یوتیلیتی سایت جامع در شکل ۳ آمده است. فرض شده است که کندانس بازگشتی (CR) و آب ورودی به بویلر (BFW) در دمای ۱۰۵°C تامین می‌گردد.



شکل ۲: سامانه یوتیلیتی سایت جامع واحد خدمات جانبی یک پالایشگاه [۱۱]



شکل ۳: واحد یوتیلیتی سایت جامع مطالعه موردی اول [۱۲]

هدف گذاری حرارت و توان

هدف از این مطالعه موردی در ابتدا هدف گذاری تولید همزمان با استفاده از روش اصلاحی IBTM می‌باشد. پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز سایت جامع، مدل اولیه نمودار ترکیبی یوتیلیتی سایت جامع همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، ترسیم می‌گردد. در نمودار اولیه یوتیلیتی سایت جامع، میزان بار حرارتی تولید شده و مورد نیاز در هر سطح، فشار و دمای بخار اشباع در هر سطح نشان داده می‌شود. دمای واقعی بخار LP (۱63°C سانتی گراد)، با اضافه

$$Z_{BOILER} = 30337.015 m_B^{1.5} + 140705 \quad (8)$$

که Z_{BOILER} هزینه خرید بویلر بر حسب دلار، و m_B دبی بخار بر حسب کیلو گرم بر ثانیه می‌باشد [۱۰].

تابع قیمت خرید توربین بخار

هر چند که قیمت خرید توربین‌های بخار، به عنوان تابعی از توان خروجی طراحی آنها می‌تواند تخمین زده شود ولی این تخمین اختلاف شرایط بخار خروجی و ورودی را در نظر نمی‌گیرد. در حقیقت سایز و قیمت توربین بستگی به حجم بخار عبوری از توربین دارد. در این تحقیق از رابطه‌ی زیر برای تابع قیمت خرید توربین بخار استفاده شده است که Z_{ST} بر حسب دلار و W_{ST} توان بر حسب کیلو وات می‌باشد [۱۰].

$$Z_{ST} = 151.13 \times W_{ST} + 356250 \quad (9)$$

تابع قیمت خرید توربین گاز

تابع قیمت خرید توربین گاز بیان شده توسط آگولار (آگولار، ۲۰۰۵)، از قیمت‌های جهانی گزارش شده توسط بسیاری از واحدها و سازنده‌های توربین گاز در سال ۲۰۰۳، رگرسیون شده است.

$$PC_{GT} = 0.3082W_{D,GT} + 611.4 \quad (10)$$

که در این رابطه، PC_{GT} قیمت خرید توربین گاز (۱۰۰۰\$)(2003) (با توجه به نوع کاربرد آن که تولید کننده برق می‌باشد) و $W_{D,GT}$ توان خروجی طراحی توربین گاز (KW) می‌باشد.

فاکتور هزینه سالیانه

از آنجا که توابع قیمت تجهیزات بر اساس دلار می‌باشد، هزینه خرید تجهیزات با استفاده از فاکتور تبدیل هزینه‌های سرمایه گذاری (CRF)^۴ مطابق رابطه (۱۱) به هزینه‌های سالیانه تبدیل می‌گردد.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$

در این رابطه i ، نرخ بهره که 5% در نظر گرفته شده است و n ، عمر تعیین شده تجهیزات می‌باشد که ۲۰ سال در نظر گرفته شده است.

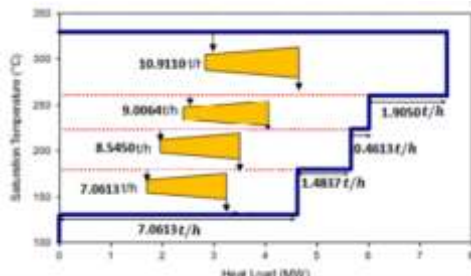
تجزیه و تحلیل

جهت بررسی قابلیت کاربردی روش تحلیل اگزورژواکونومیک در سایت جامع سامانه تولید همزمان حرارت و توان به بررسی دو مطالعه موردی پرداخته می‌شود.

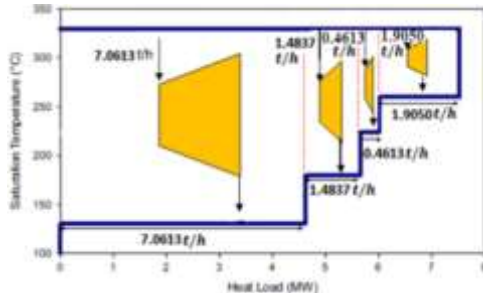
مورد مطالعاتی اول

^۴ - Capital Recovery Factor

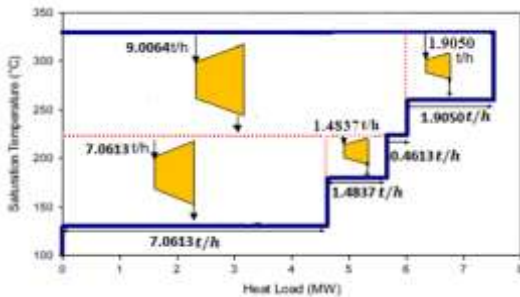
اگرزوی انتخاب نمود. در شکل های ۶ تا ۹ سناریوهای مختلفی از چیدمان های مختلف توربین های بخار مطرح می شود. در تمامی این چیدمان ها نسبت توان به بار حرارتی برابر $R=0.26283$ می باشد [۱۴].



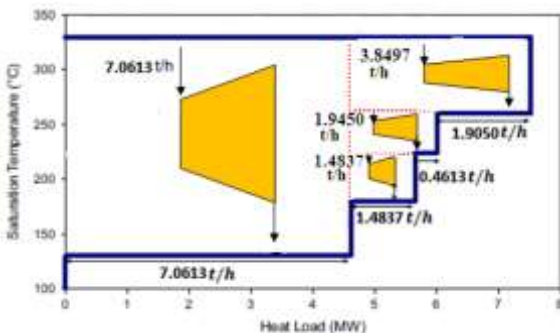
شکل ۶: چیدمان توربین های بخار در سناریوی اول مورد مطالعاتی اول



شکل ۷: چیدمان توربین های بخار در سناریوی دوم مورد مطالعاتی اول



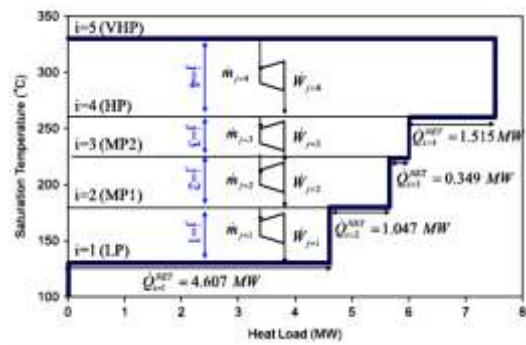
شکل ۸: چیدمان توربین های بخار در سناریوی سوم مورد مطالعاتی اول



شکل ۹: چیدمان توربین های بخار در سناریوی چهارم مورد مطالعاتی اول

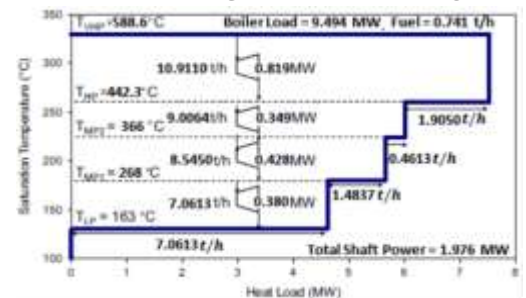
نتایج حاصل از تحلیل اگزورژاکنونومیک به علت ثابت بودن توان تولیدی و قیمت تجهیزات با توجه به فرمول محاسبه ی آنها در هر چهار سناریوی ارائه شده یکسان می باشد. در این صورت می توان از هر یک از چهار سناریو در حالت نیاز به توان اضافی و ترکیب با دیگر سامانه ها استفاده نمود.

کردن یک مقدار فرضی درجه سوپر هیت (DSH) 30° سانتی گراد به دمای اشباع آن (133° سانتیگراد) مشخص می شود [۱۱].



شکل ۴: آماده سازی مدل در SUGCC, [۱۱]

سیس با شروع از سطح LP, دمای همه سطوح از روش IBTM اصلاح شده, [۱۳], به دست می آید.



شکل ۵: نمودار ترکیبی یوتیلیتی سایت جامع پس از هدفگذاری به کمک الگوریتم اصلاحی IBTM (مورد مطالعاتی اول)

انتخاب بهترین چیدمان تجهیزات سامانه تولید همزمان جهت تامین حرارت و توان مورد نیاز پالایشگاه از دیدگاه اگزورژاکنونومیکی

مطابق الگوریتم روش کار و مطالب قبلی، در ابتدا به پیکربندی چیدمان توربین های بخار پرداخته و با تحلیل عملکرد اگزورژاکنونومیکی آنها چیدمان مناسب را معرفی می کنیم. در ادامه به جزء دوم این تحقیق یعنی اضافه شدن دو طرح به کارگیری از یک سامانه توربین میعانی (کندانسی) یا یک سامانه توربین گازی می پردازیم. در نهایت مجموع بهترین طرح شامل چیدمان کارآمد توربین های بخار فشار برگشتی به اضافه ی بهترین طرح جانبی از بین سامانه توربین گازی یا میعانی به عنوان طرح منتخب ارائه خواهد شد.

نحوه چیدمان توربین بخار بین سطوح بخار در حالت تولید همزمان کامل

همان طور که در نمودار ترکیبی یوتیلیتی سایت جامع پس از هدفگذاری به کمک الگوریتم اصلاحی IBTM شکل ۴ مشخص گردید، سه ناحیه بین هر دو سطح بخار وجود دارد که با اندیس $3=$ نشان داده می شود. برای به دست آوردن توان، بین این دو سطح بخار، توربین بخار قرار می گیرد، شکل ۵ چیدمانی که بین هر دو سطح متوالی یک توربین فشار برگشتی موجود است را نشان می دهد. اگر قرار بر تولید همین میزان توان باشد، می توان چیدمان های متنوعی از توربین های بخار با همین میزان توان تولیدی را پیشنهاد نمود و چیدمان بهینه را کمترین مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب

انتخاب بهترین چیدمان تجهیزات جهت تامین توان اضافی بر توان تولید همزمان کامل پالایشگاه	توربین گازی + چیدمان دوم توربین های بخار	توربین کندانسی + چیدمان دوم توربین های بخار
	0.8329	1883.3
	0.7955	2251.735

جدول ۳: قیمت تجهیزات در مورد مطالعاتی اول

	Z [\$]
STEAM TURBINES	627.679e3
BOILER ST	1567.064592e3
CONDENSING TURBINE Boiler CT	662.13712e3 1530.083e3
GT	2038 e3

جدول ۴: محاسبه ی مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزروی برای مورد مطالعاتی اول

	STEAM TURBINES + boiler	CONDENSING Turbine + boiler	GT + HRSG
Z [1000\$]	2194.743	2192.21	2038+57.1
\dot{E}_D [KW]	290.31 + 5963.38	1957.95 + 17861.69	1591.3 + 4881.1
\dot{C}_D [\$/hr]	112.566	356.753	127.303
\dot{Z} [\$/hr]	51.69	51.6387	49.3642
$\dot{Z} + \dot{C}_D$ [\$/hr]	164.256	408.383	176.6672

جدول ۵: محاسبه ی مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزروی برای تامین توان اضافی برای مورد مطالعاتی اول

	$\dot{Z} + \dot{C}_D$ [\$/hr]
CT + ST	572.639
ST+ GT	340.9232

مورد مطالعاتی دوم

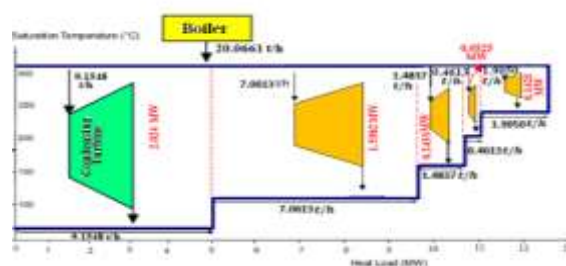
در این مورد مطالعاتی، سامانه یوتیلیتی دارای چهار سطح شامل سطح بخار VHP در فشار 120 بار، HP در 50 بار، MP در 14 بار و LP در 3 بارمی باشد [۱۱]، در این مورد فرض بر این است که آب ورودی به بویلر (BFW) و کندانس برگشتی (CR) در دمای 105° سانتی گراد هستند.

انتخاب بهترین چیدمان تجهیزات سامانه تولید همزمان جهت تامین حرارت و توان مورد نیاز پالایشگاه از دیدگاه اگزرواکونومیکی

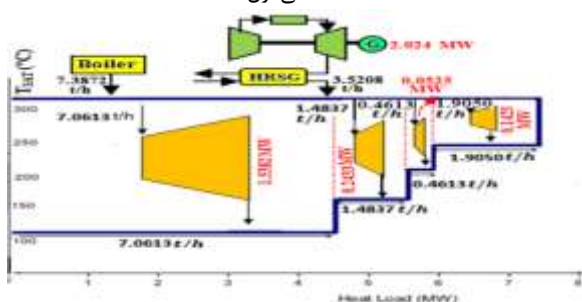
مطابق الگوریتم روش کار و مشابه بخش قبلی در ابتدا به پیکربندی چیدمان توربین‌های بخار پرداخته و با تحلیل عملکرد

اگر تقاضای توان پالایشگاه به فرض مقدار ۴ مگاوات باشد، این مقدار توان با توان تولیدی توربین‌های بخار بین سطوح یعنی توان تولید همزمان کامل تامین نمی گردد. از اینرو، طرح استفاده از توربین کندانسی (CT) با فشار فرضی ۰.۰۸۵bar یا طرح بهره‌برداری از سامانه توربین گازی (GT) و یا حتی ترکیبی از این دو برای تامین توان اضافی واحد بررسی می گردد.

یعنی می‌توان یک سناریو بادر نظر گرفتن توربین میعانی (کندانسی) و سناریو ی دیگری بادر نظر گرفتن توربین گازی مطرح کرد و تحلیل اگزرواکونومیک را در این دو حالت بررسی نمود. در نهایت سناریویی که کمترین مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزروی را داشته باشد به عنوان بهترین سناریو انتخاب می شود.



شکل ۱۰: سناریوی اول برای تولید توان اضافی مورد نیاز پالایشگاه، مورد مطالعاتی اول



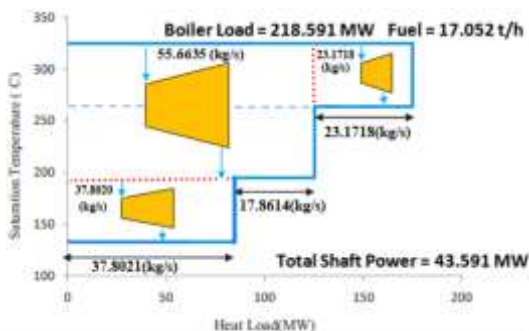
شکل ۱۱: سناریوی دوم برای تولید توان اضافی مورد نیاز پالایشگاه، مورد مطالعاتی اول

جدول ۱: مقایسه نتایج حاصل از تحلیل اگزروی سناریوهای جانبی جهت تولید توان اضافی مورد نیاز، مورد مطالعاتی اول

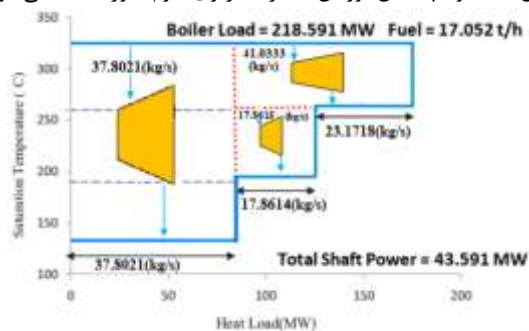
$\dot{E}_{Dest.total}$ [kW]	η_{ex}	
1591.3	0.7702	توربین گازی
1959.7	0.508	توربین بخار کندانسی

جدول ۲: مقایسه بازدهی ها و اگزروی تخریبی طرح های پیشنهادی کلی، مورد مطالعاتی اول

$\dot{E}_{Dest.total}$ [kW]	η_{ex}	طرح های پیشنهادی
-----------------------------	-------------	------------------



شکل ۱۴: نحوه چیدمان توربین ها در سناریوی سوم (مورد مطالعاتی دوم)



شکل ۱۵: نحوه چیدمان توربین ها در سناریوی چهارم (مورد مطالعاتی دوم) نتایج حاصل از تحلیل اگزورژواکونومیک به علت ثابت بودن توان تولیدی و قیمت تجهیزات با توجه به فرمول محاسبه ی آنها در هر چهار سناریوی ارائه شده یکسان می باشد. در این صورت می توان از هر یک از چهار سناریو در حالت نیاز به توان اضافی و ترکیب با دیگر سامانه ها استفاده نمود.

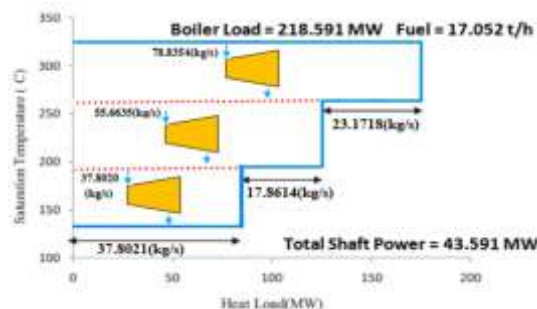
انتخاب بهترین چیدمان تجهیزات جهت تامین توان اضافی بر توان تولید همزمان کامل پالایشگاه

اگر تقاضای توان پالایشگاه به فرض مقدار ۵۰ مگاوات باشد، این مقدار توان با توان تولیدی توربین های بخار بین سطوح یعنی توان تولید همزمان کامل تامین نمی گردد. از اینرو، طرح استفاده از توربین کندانسی (CT) با فشار فرضی ۰.۸۵ bar یا طرح بهره برداری از سامانه توربین گازی (GT) و یا حتی ترکیبی از این دو برای تامین توان اضافی واحد بررسی می گردد، یعنی می توان یک سناریو با در نظر گرفتن توربین میعانی (کندانسی)، شکل ۱۶ و سناریوی دیگری با در نظر گرفتن توربین گازی، شکل ۱۷ مطرح کرد و تحلیل اگزورژواکونومیک را در این دو حالت بررسی نمود. در نهایت سناریویی که کمترین مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزورژی را داشته باشد به عنوان بهترین سناریو انتخاب می شود. لازم به ذکر است، با توجه به بالا بودن دمای سوپر هیت سطح فشار VHP، از مولد بازیاب حرارت با مشعل استفاده می گردد و در محاسبات بازدهی اگزورژی، مقدار این سوخت مصرفی نیز لحاظ می شود، در شرایط مساوی برای هر دو سناریو، یعنی در توان تولیدی و حرارت تولیدی یکسان که نسبت R برای هر دو سناریو 0.5348 می باشد تحلیل اگزورژی را در هر دو سناریو انجام می شود. نتایج حاصل از بررسی این دو طرح کمترین مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و

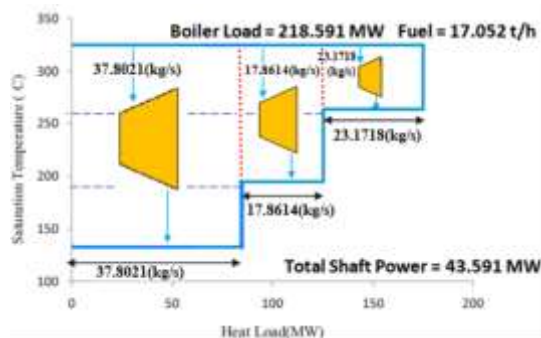
اگزورژواکونومیک آنها چیدمان مناسب را معرفی می کنیم. در ادامه به جزء دوم این تحقیق یعنی اضافه شدن دو طرح به کارگیری از یک سامانه توربین میعانی (کندانسی) با بازدهی ۸۰٪ و یا یک سامانه توربین گازی به همراه یک سامانه Fired HRSG با بازدهی ۸۵٪ می پردازیم. در نهایت مجموع بهترین طرح شامل چیدمان کارآمد توربین های بخار فشار برگشتی به اضافه ی بهترین طرح جانبی از بین سامانه توربین گازی یا میعانی به عنوان طرح منتخب ارائه خواهد شد.

نحوه چیدمان توربین بخار بین سطوح بخار در حالت تولید همزمان کامل

همان طور که در نمودار ترکیبی یوتیلیتی سایت جامع پس از هدف گذاری به کمک الگوریتم اصلاحی IBTM، شکل ۴ مشخص گردید، سه ناحیه بین هر دو سطح بخار وجود دارد که با اندیس 3= نشان داده می شود. برای به دست آوردن توان، بین این دو سطح بخار، توربین بخار قرار می گیرد، شکل ۵ چیدمانی که بین هر دو سطح متوالی یک توربین فشار برگشتی موجود است را نشان می دهد. اگر قرار بر تولید همین میزان توان باشد، می توان چیدمان های متنوعی از توربین های بخار با همین میزان توان تولیدی را پیشنهاد نمود و چیدمان بهینه را کمترین مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزورژی انتخاب نمود. در شکل های ۱۲ تا ۱۵ سناریوهای مختلفی از چیدمان های مختلف توربین های بخار مطرح می شود. در تمامی این چیدمان ها نسبت توان به بار حرارتی برابر $R=0.2$ می باشد [۱۴].



شکل ۱۶: نحوه چیدمان توربین ها در سناریوی اول (مورد مطالعاتی دوم)



شکل ۱۷: نحوه چیدمان توربین ها در سناریوی دوم (مورد مطالعاتی دوم)

هزینه نرخ تخریب اگزرژی را برای سناریوی دوم ، شکل ۱۷ یعنی

جدول ۸: قیمت تجهیزات در مورد مطالعاتی دوم

	Z [\$]
STEAM TURBINES	7681.82336e3
BOILER ST	22642.1803e3
CONDENSING T Boiler CT	7912.750e3 14653.100e3
GT	16021.4e3

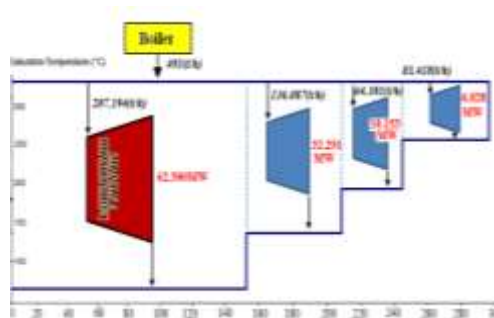
جدول ۹: محاسبه ی مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزرژی برای مورد مطالعاتی دوم

	STEAM TURBINE S + boiler	CONDENSING Turbine + boiler	GT + HRSG
Z [1000\$]	2194.743	2192.21	16021.4+1.7 61023
ĖD [MW]	5.1252 + 126.160	43.185 +413.7023	35.695 +16.7614+ 110.99
ĈD [\$ /hr]	131.2852	456.8873	163.4464
Ż [\$ /hr]	714.2987	531.5511	377.4344
Ż + ĈD [\$ /hr]	845.58	988.4384	540.88

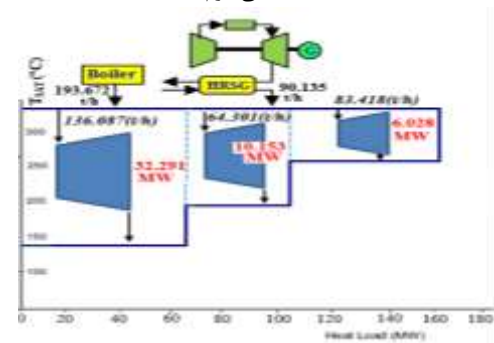
استفاده از سامانه توربین گازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: محاسبه ی مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزرژی برای تامین توان اضافی برای مورد مطالعاتی دوم

	Ż + ĈD [\$ /hr]
CT + ST	1834.0184
ST+ GT	1386.4608



شکل ۱۶: سناریوی اول برای تولید توان اضافی مورد نیاز پالایشگاه، مورد مطالعاتی دوم



شکل ۱۷: سناریوی دوم برای تولید توان اضافی مورد نیاز پالایشگاه، مورد مطالعاتی دوم

جدول ۶: مقایسه نتایج حاصل از تحلیل اگزرژی سناریوهای جانبی جهت تولید توان اضافی مورد نیاز، مورد مطالعاتی دوم

$\dot{E}_{Dest.total}$ [MW]	η_{ex}	
35.695	0.85	توربین گازی
43.186	0.5365	توربین بخار کندانسی

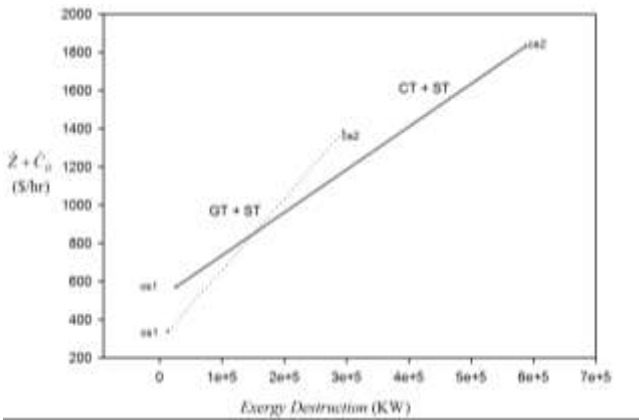
جدول ۷: مقایسه بازدهی ها و اگزرژی تخریبی طرح های پیشنهادی کلی، مورد مطالعاتی دوم

$\dot{E}_{Dest,total}$ [kW]	η_{ex}	طرح های پیشنهادی
40.8202	0.7261	توربین گازی + چیدمان توربین های بخار
48.3112	0.4162	توربین کندانسی + چیدمان توربین های بخار

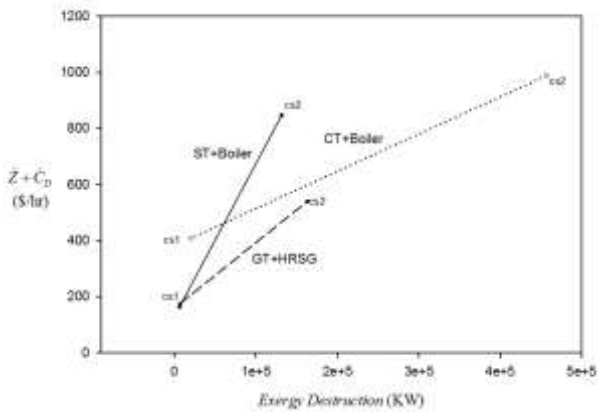
نتایج تحلیل اگزرژی و اگزرواکنومیکی در مورد مطالعاتی اول:

نتایج حاصل از تحلیل توربین‌های بخار فشار برگشتی برای مورد مطالعاتی اول نشان داد که هر چهار سناریو دارای بازدهی اگزرژی به میزان ۸۲،۱۹ درصد و تخریب اگزرژی به میزان ۲۹۰ کیلووات می‌باشند. دلیل این نتایج یکسان، ثابت بودن ورودی بار حرارتی به خطوط فشار، تولید توان ثابت در هر چهار سناریو و همچنین ثابت بودن دما و فشار خطوط فشار می‌باشد. از اینرو، می‌توان از هر یک از سناریوها جهت استفاده ترکیبی در کنار طرح‌های جانبی جهت تولید توان اضافی استفاده کرد، جهت تولید ۵۰ مگاوات توان اضافی در مواقع نیاز به توان اضافی، دو طرح استفاده از یک توربین میعانی و سامانه توربین گازی با نسبت R یکسان پیشنهاد شد. مقایسه این دو طرح از دیدگاه اگزرژی برتری سامانه توربین گازی را از نظر بازدهی اگزرژی و تخریب اگزرژی کمتر نسبت به نوع توربین میعانی نشان داد. و مقایسه‌ی این دو طرح از دیدگاه اگزرواکنومیک برتری سامانه توربین گازی را با توجه به کمتر بودن مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب اگزرژی نسبت به توربین میعانی نشان

نمودار ۱: تخریب انرژی و تابع هدف انرژی و اکونومیک در مورد مطالعاتی اول و دوم



نمودار ۲: مقایسه ترکیب توربین گاز و توربین های بخار در برابر ترکیب توربین های بخار و توربین کندانسی در مورد مطالعاتی اول و دوم



داد. به این ترتیب که بازدهی انرژی و تخریب سامانه توربین گازی برابر با ۷۷ درصد و ۱۵۹۱ کیلووات و در نوع توربین میعانی به ترتیب برابر با ۵۰ درصد و ۱۹۵۹ کیلووات برآورد شد. و باز به این ترتیب مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب انرژی سامانه توربین گاز ۳۴۰,۹۲۳۲ دلار بر ساعت و برای توربین میعانی ۵۷۲,۶۳۹ دلار بر ساعت برآورد شد. از اینرو، استفاده ترکیبی از چیدمان منتخب توربین های بخار فشار برگشتی و سامانه توربین گازی، از دیدگاه انرژی و اکونومیک به عنوان بهترین انتخاب پیشنهاد می شود.

نتایج تحلیل انرژی و انرژی و اکونومیک در مورد مطالعاتی دوم:

نتایج حاصل از تحلیل توربین های بخار فشار برگشتی برای مورد مطالعاتی دوم نشان داد که هر چهار سناریو دارای بازدهی انرژی به میزان ۹۳,۴۷ درصد و تخریب انرژی به میزان ۵۰۲۵ کیلووات می باشند. دلیل این اتفاق، ثابت بودن ورودی بار حرارتی به خطوط فشار، تولید توان ثابت در هر چهار سناریو و همچنین ثابت بودن دما و فشار خطوط فشار می باشد. از اینرو می توان از هر یک از سناریوها برای استفاده ترکیبی در کنار طرح های جانبی جهت تولید توان اضافی استفاده کرد، جهت تولید ۵۰ مگاوات توان اضافی، دو طرح استفاده از یک توربین میعانی و سامانه توربین گازی با نسبت R یکسان پیشنهاد شد. مقایسه این دو طرح از دیدگاه انرژی برتری سامانه توربین گازی را در بازدهی انرژی و تخریب انرژی کمتر نسبت به نوع توربین میعانی نشان داد. و مقایسه این دو طرح از دیدگاه انرژی و اکونومیک برتری سامانه توربین گازی را با توجه به کمتر بودن مقدار مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب انرژی نسبت به توربین میعانی نشان داد. به این ترتیب که بازدهی انرژی و تخریب سامانه توربین گازی برابر با ۸۵ درصد و ۳۵,۷ مگاوات و در نوع توربین میعانی به ترتیب برابر با ۵۳,۶۵ درصد و ۴۳,۱۸۶ مگاوات برآورد شد. و باز به این ترتیب مجموع نرخ سرمایه گذاری و هزینه نرخ تخریب انرژی سامانه توربین گازی ۱۳۸۶,۴۶۰۸ دلار بر ساعت و برای توربین میعانی ۱۸۳۴,۰۱۸۴ دلار بر ساعت برآورد شد. از اینرو، استفاده ترکیبی از چیدمان منتخب توربین های بخار فشار برگشتی و سامانه توربین گازی، از دیدگاه انرژی و اکونومیک به عنوان بهترین انتخاب پیشنهاد می شود.

منابع و مآخذ

- [^۸] ترازنامه هیدروکربوری کشور ۱۳۸۵، مرکز مطالعات بین‌المللی انرژی.
- [9] Ahmadi P, Dincer I, Rosen M. 2011 Exergy, exergoeconomic and environmental analyses and evolutionary algorithm based multi-objective optimization of combined cycle power plants. *International Journal of Energy*:36:5886-5898.
- [10] Shamsi, S., Omidkhah R. S., 2012, Optimization of Steam Pressure Levels in a Total Site Using a Thermoeconomic Method, *Energies*, 5, PP.702-717; doi:10.3390/en5030702.
- [11] Ghannadzadeh A., Perry S., Smith R., 2012, Cogeneration targeting for site utility systems, *Applied Thermal Engineering*, 43, PP. 60-66, doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.10.006.
- [12] Khoshgoftar Manesh M.H., Amidpour M., KhamisAbadi S., Hamedi M.H., 2013, A new cogeneration targeting procedure for total site utility system, *Applied Thermal Engineering*, 54, PP. 272-280.
- [13] Ghazi, M., et al., 2014, Developing of Constructal Theory concept to the Total Site Cogeneration Heat and Power Retrofit, *Int. J. Exergy*.
- [1] Milton Meckler, Lucas Hyman, 2010, *Sustainable On-Site CHP Systems: Design, Construction, and Operations*, McGraw Hill
- [2] Dieter Dueblin and Anglika Steinhauser, 2008, *Utilization of biogas for the generation of electric power and heat*, WILEY-VHC.
- [3] D.W.Wu, R.Z.Wang, 2006, *Combined cooling, heating and power: A review*: Elsevier Ltd Electricity and Energy Reliability.
- [4] Dhole, V.R. Linnhoff, B., 1993, Total site targets for fuel co-generation, emissions, and cooling. *Computers and Chemical Engineering*. 17(supp1), 101-109.
- [5] Raissi K., 1994, *Total Site Integration*, PhD thesis, UMIST, Manchester.
- [6] Klemes J., Dhole V.R., Raissi K., Perry S.J., Puigjaner L., 1997, Targeting and design methodology for reduction of fuel power and CO₂ on total sites, *Applied Thermal Engineering* 17 (8-10), PP. 993-1003.
- [7] Smith R., 2005, *Chemical Process Design and Integration*, Wiley, West Sussex.